



Asteroidenalarm !

- oder -

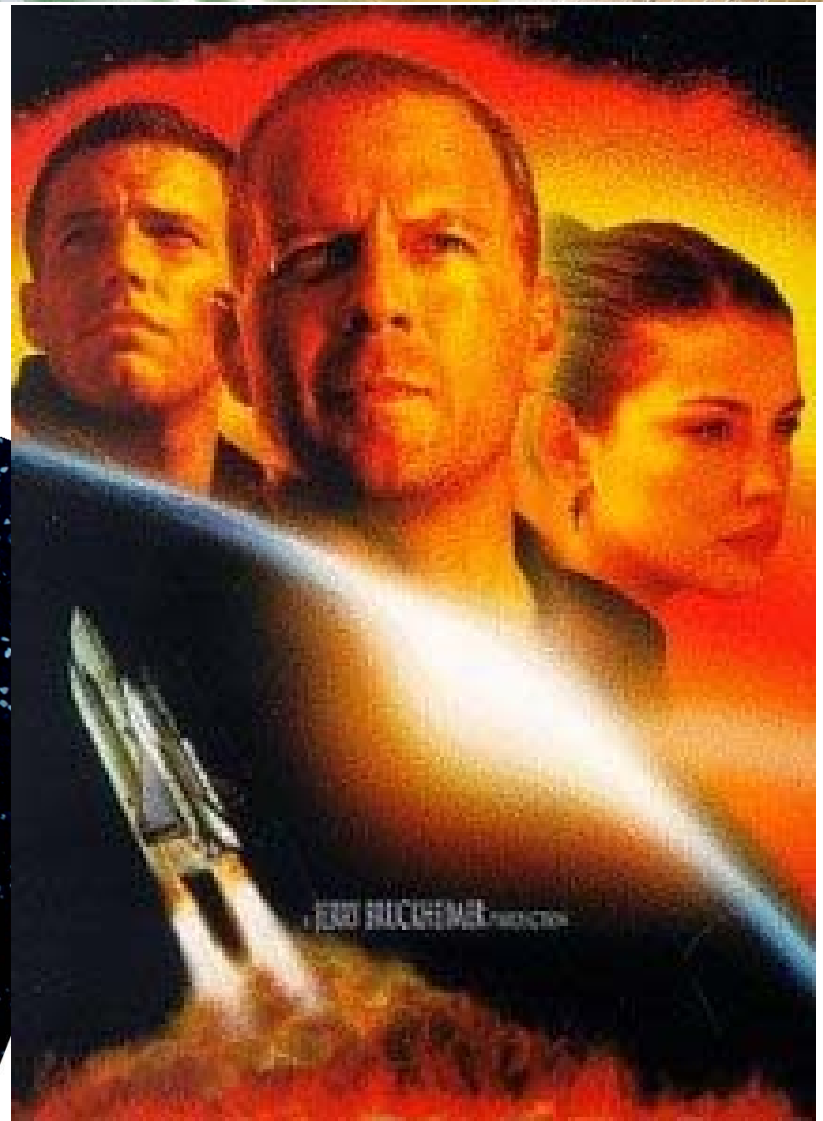
“Houston, haben wir ein Problem?”

Dipl.-Ing. Jan Thimo Grundmann
DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Raumfahrtsysteme, Bremen - Abt. Orbitalsysteme und Sicherheit

DIE IM FOLGENDEN PRÄSENTIERTEN INHALTE GEBEN AUSSCHLIESSLICH DIE ANSICHTEN DES AUTORS WIEDER; SIE STELLEN IN KEINER WEISE OFFIZIELLE ODER AUF ANDERE WEISE GENEHMIGTE ODER ABGESEGNETE AUSSAGEN, ABSICHTEN, PLANUNGEN ODER ZIELE DES DLR ODER DER MIT IHM VERBUNDENEN ORGANISATIONEN DAR.

...? „Ja klar!“ ...

BRUCE WILLIS WISSEN



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

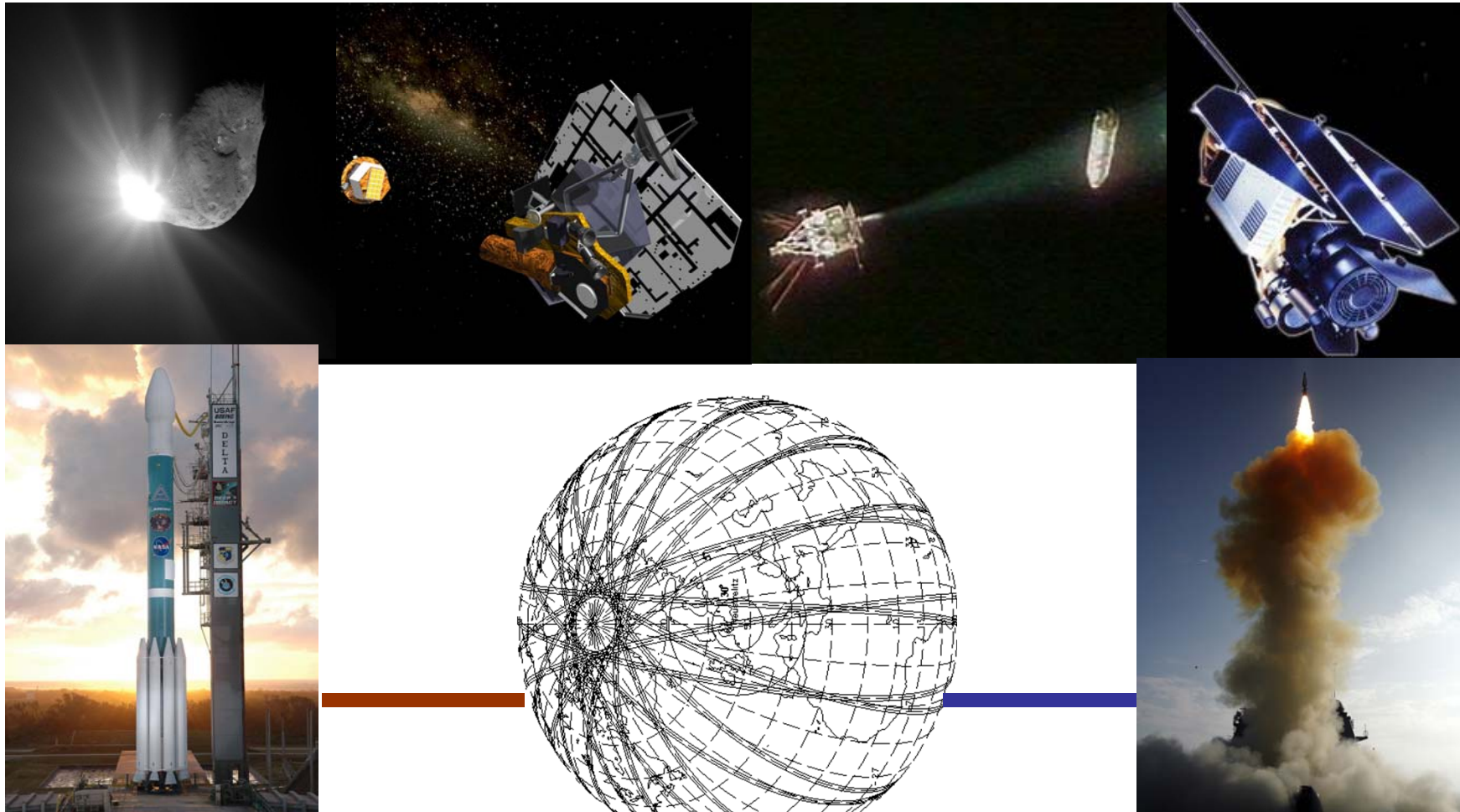
Bilder: l.: Peter from UK via wikipedia, r.:
Touchstone Pictures via imdb.com, u.l.:
myniceprofile.com

Folie 2

1. Deutsches Meteoriten-Kolloquium in Kuhfelde, Sachsen-Anhalt > Asteroidenalarm! > RY-OR HB Jtg > 13 NOV 2010



... vs. „Ist doch längst erledigt ... oder ?“



Astronomie: eine Geschichte aus Augen, Geist und Papier

- >5000 Jahre gefestigte Tradition in der Beobachtung und Deutung von Himmelszeichen für die menschlichen Sinnfragen und das Verständnis der Zukunft – und in zunehmender Abstraktion
- Saat und Ernte ⇔ Astrologie und Religion ⇔ Physik und Kosmologie
- bei der Entdeckung und für das bloße Auge waren alle planetaren Objekte bloß *eine* bewegte Punktquelle zwischen *vielen* stationären Punktquellen, die sich nachts dem geduldigen Beobachter offenbarte
 - πλάνητες ἀστέρες ⇔ planetes asteres ⇔ Wandelsterne, oder
πλανήτοι ⇔ planētoi ⇔ Wanderer
 - 5 dem bloßen Auge (seit vorgeschichtlicher Zeit)
 - 251904 dem Teleskop (bis jetzt) *

* (251651) 2336 T-3 ist der zur Zeit höchstnummerierte Kleinkörper des Sonnensystems, plus 8 Planeten, plus 245 nummerierten periodischen Kometen
(MPC-Datenbank Stand vom 2010 Sep 24)



moderne Astronomie: von den Hirten im Felde zum Lenkungsausschuß

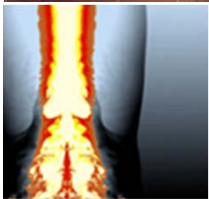
- die Astronomie hat sich traditionell immer eher mit der Gesamtheit der Objekte und ihrer Bahnen im Sonnensystem beschäftigt
- wechselnde Ziele:
 - prähistorisch: Jahreszeitbestimmung für die nomadische Jagd
 - vorgeschichtlich: Kalendererstellung für die Landwirtschaft
 - Antike ... Mittelalter: Astrologie im Dienste der Mächtigen
 - Aufklärung und Neuzeit: Begründung des Determinismus
 - heute: gesellschaftlich geplante Arbeit nach wissenschaftlichen Zielvorhersagen zum nachprüfbaren Nutzen des Steuerzahlers
 - Wissenschaft wird heute durch Gremien nur nach als sicher begutachteten Erwartungen bewertet und finanziert
 - Neugier kann nicht mehr frei unter dem Mantel von Elite oder Aberglaubens mit fachlicher Ausrede verfolgt werden
 - ...bei den Hirten waren's schließlich auch Überstunden ;-)



Praktische Astronomie: betrifft uns das noch irgendwie?

- „zu Beginn des 20. Jahrhunderts hatten die Astronomen das Sonnensystem im wesentlichen verlassen“
- die professionelle Astronomie widmete sich den wirklich relevanten großen wissenschaftlichen Fragestellungen des All-tags:
 - Stern- und Galaxienentwicklung, Kosmologie, Urknall
 - Astrophysik, Astroteilchenphysik, Relativitätstheorie, Strahlung
 - „unphysikalische“ Wissenschaft kommt in Verruf
 - „Marskanäle“, „Planet X“ ⇔ Science Fiction, SETI
- „**giggle factor**“: das Sonnensystem wird teleskopisch eher minderbemittelten Instituten sowie allerlei zufällig interessierten Amateurastronomen und Freizeit-Bahnenrechtern überlassen ...





Heureka Tunguska!

– oder: manche himmlische Bahn endet als geologische Exkursion



1908: Tunguska-Ereignis durch Augenzeugen als Einschlag identifiziert

1960: Meteor Crater durch Hochdruckminerale bestätigt

1962: Sedan-Krater kerntechnisch erzeugt

Alvarez-Hypothese zum Aussterben der Dinosaurier (K-T-Wende) :1980

Shoemaker-Levy 9 Großeinschlag ‚live‘ :1994

umfassende Tunguska-Simulation :2008



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Bilder: pan.: H. Raab (Vesta); diag.: Mark
Boslough / Sandia Nat'l Labs (2), Kulik
Expedit., USGS, U.S. DoE (2), G. Shoemaker
/ USGS; hint.: NASA (3) – alle via wikipedia

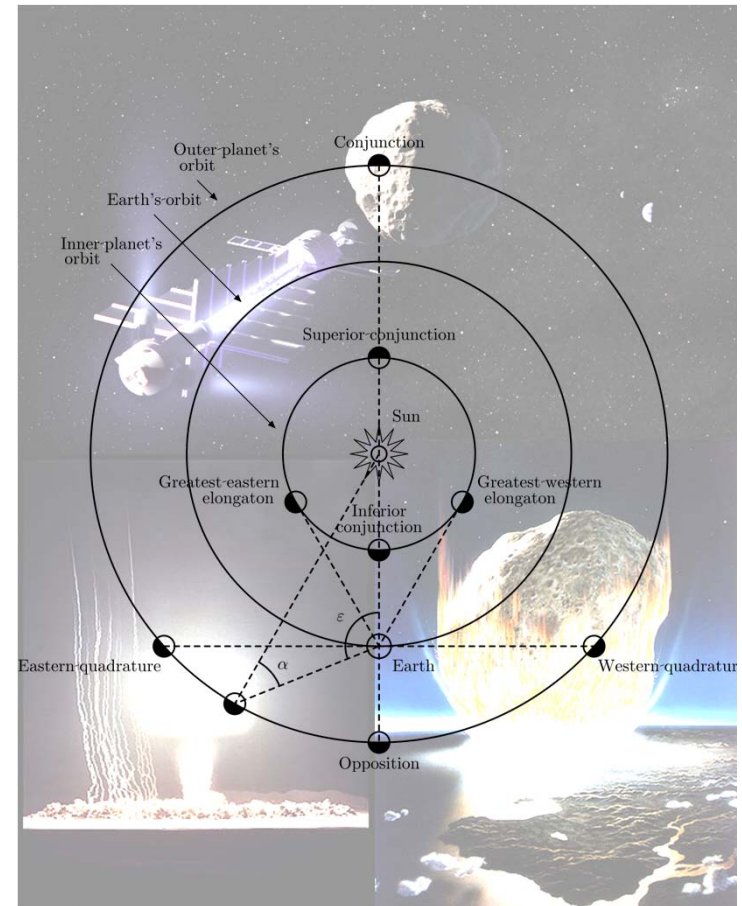
1. Deutsches Meteoriten-Kolloquium in Kuhfelde, Sachsen-Anhalt > Asteroidenalarm! > RY-OR HB Jtg > 13 NOV 2010

Folie 7

Was wäre wenn...

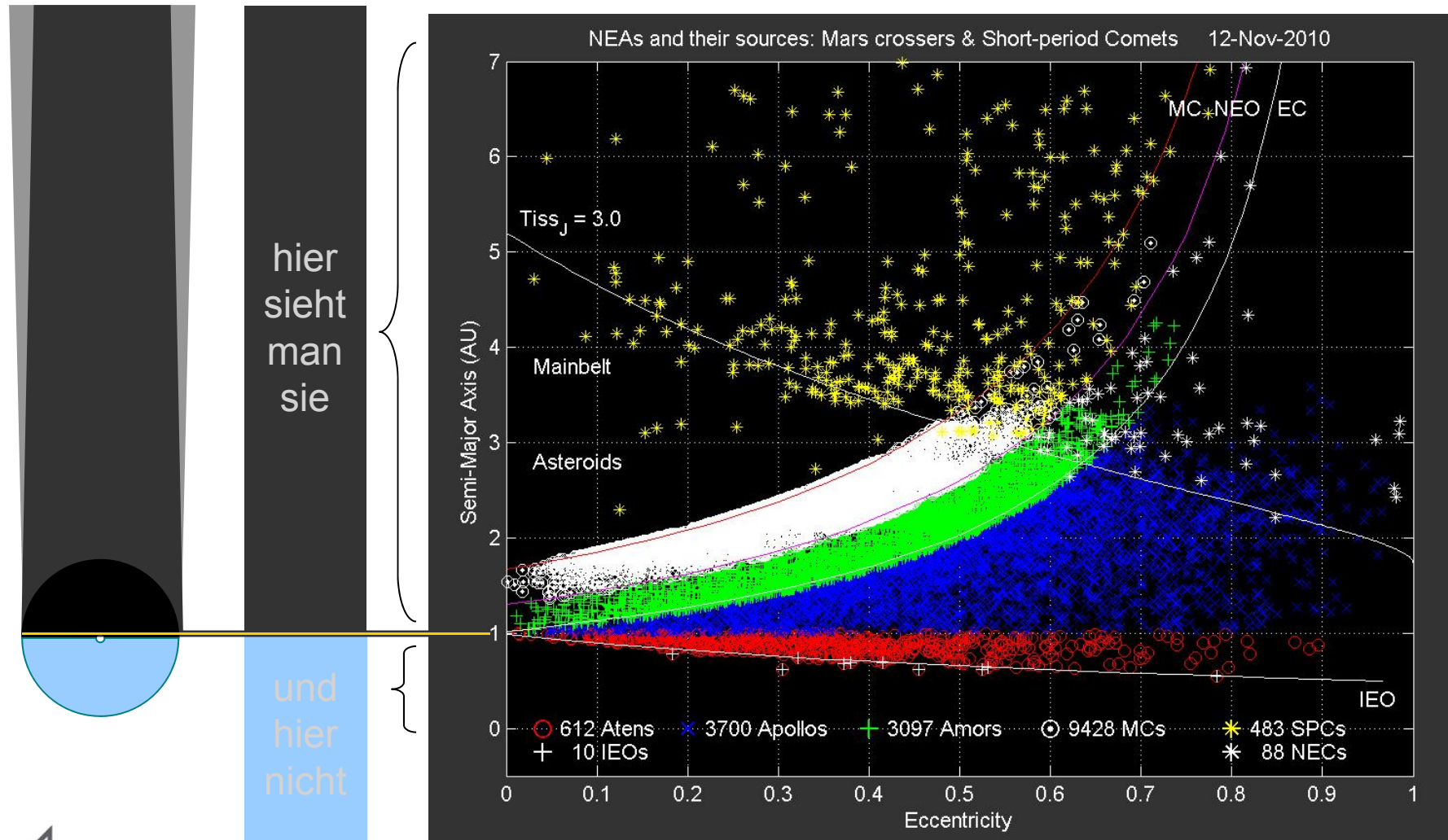
– oder : Schritt für Schritt vom Ernst-Fall zum Meteoriten-Fall zurück

- Was können wir wirklich?
 - Asteroiden schubsen?
 - Asteroiden erreichen?
 - Asteroiden treffen?
 - Asteroiden finden?
- Was erlauben uns die Naturgesetze?
 - Bahnmechanik
 - Optik
- Wie groß ist die Gefahr wirklich?
 - Wieviel Sicherheit macht Sinn?
 - Was müssen wir hinnehmen?
 - die Freiheit im Restrisiko





Was ist da oben eigentlich los? (Stand von gestern)





Was ist da oben eigentlich los? (Stand von gestern)

Material: steinig / Eisen... .. kohlig
 Dichte: ~2 / ~8 ... 0.5 g/cm³

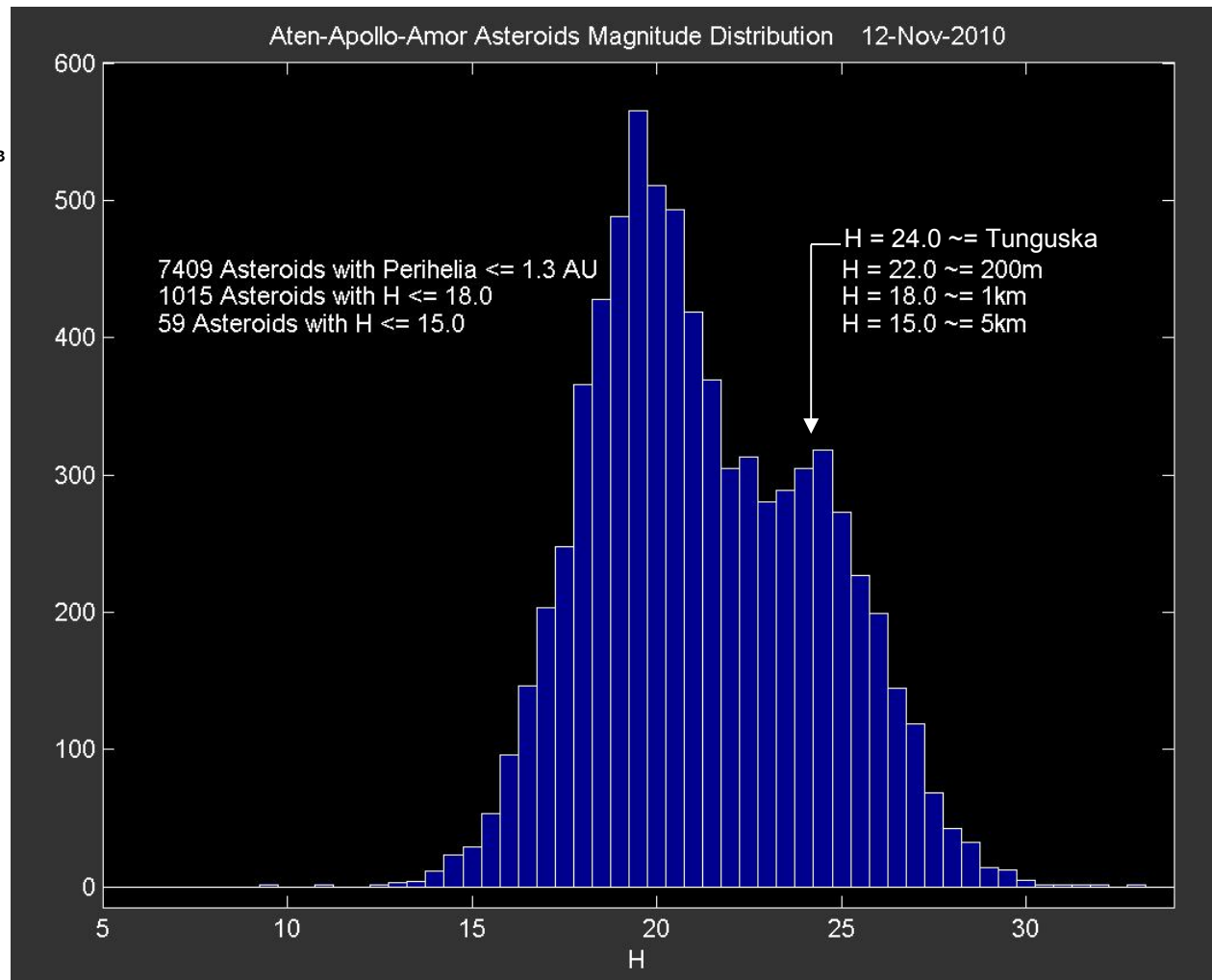
Albedo: 0.5 0.25 0.05
 rel. Vol.: 0.1 : 0.3 : 3.4 *)

H =	Ø =		
13.0	4700	6700	14900 m
15.0	1900	2600	5900 m
18.0	470	670	1500 m
22.0	75	110	240 m
24.0	30	40	95 m
28.0	4	5	12 m
30.0	2	3	6 m

*) Konvention:

H= 18 ⇔ Ø = 1 km ⇒ Albedo = 0.1114

⇒ hier: relatives Volumen = 1



Deutsches Zentrum
 für Luft- und Raumfahrt e.V.
 in der Helmholtz-Gemeinschaft

Bild: Gerhard Hahn / DLR E.A.R.N.
 (~ täglich frisch @ <http://earn.dlr.de/nea/>)

Folie 10

1. Deutsches Meteoriten-Kolloquium in Kuhfelde, Sachsen-Anhalt > Asteroidenalarm! > RY-OR HB Jtg > 13 NOV 2010



...nur, daß uns der Himmel auf den Kopf fällt.

Alltägliche Risiken	Todesrisiko (Leben / Tod)	mittlere Ereignisopferzahl	mittlere Opferzahl p.a.
Rauchen (komplett)	10	1	~500000 (nur U.S.A.)
Rauchen (aktiv)	31	1	~33000 (nur Lungenkrebs, D)
Autounfall	100	1 .. 5	~5000 (nur D, U.S.A.: ~50000)
Mord	300	~1	
Feuer	800		
Rauchen (passiv)	1700	1	~600 (nur Lungenkrebs, D)
Stromschlag	5000	~1	
Asteroideneinschlag	10 000	100 000 000	300...400 (nur U.S.A.)
Anästhesieunfall	10 000	1	
Luftverschmutzung	10 000		(Los Angeles)
Flugzeugabsturz	20 000	< 581	(0...) 100...200
Überschwemmung	30 000	10 .. 100	
Vergiftung	3 000 000	~1	
BSE	15 000 000	1	(für Großbritannien)
Handstück-Meteorit	$10^8 \dots 10^9$	1	0.01 ... 0.1 (weltweit)
Cassini-Absturz	$5 \cdot 10^9$	50	1 (weltweit, kpl. 33 kg ^{238}Pu)

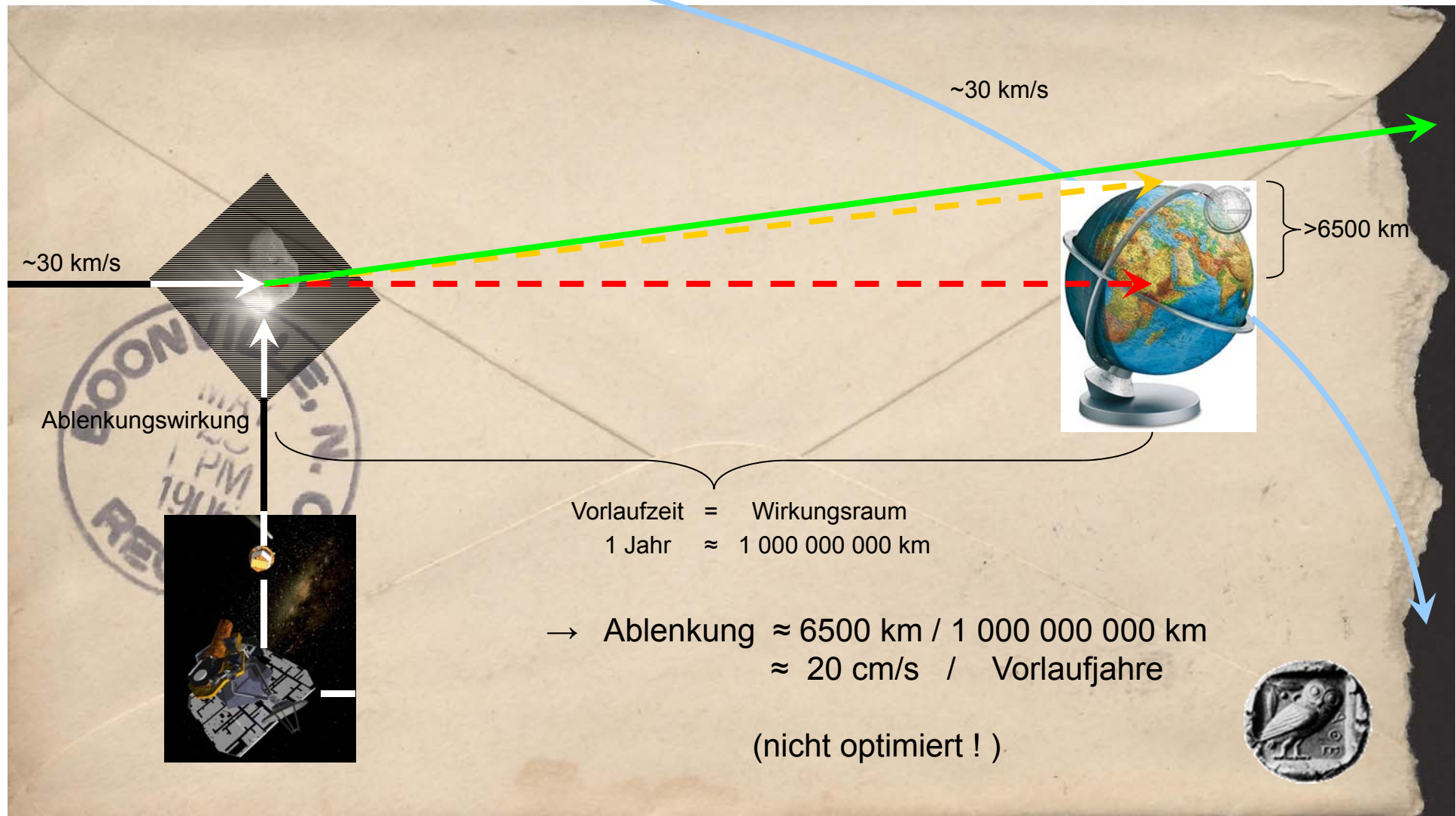


Risiko, ...aber:

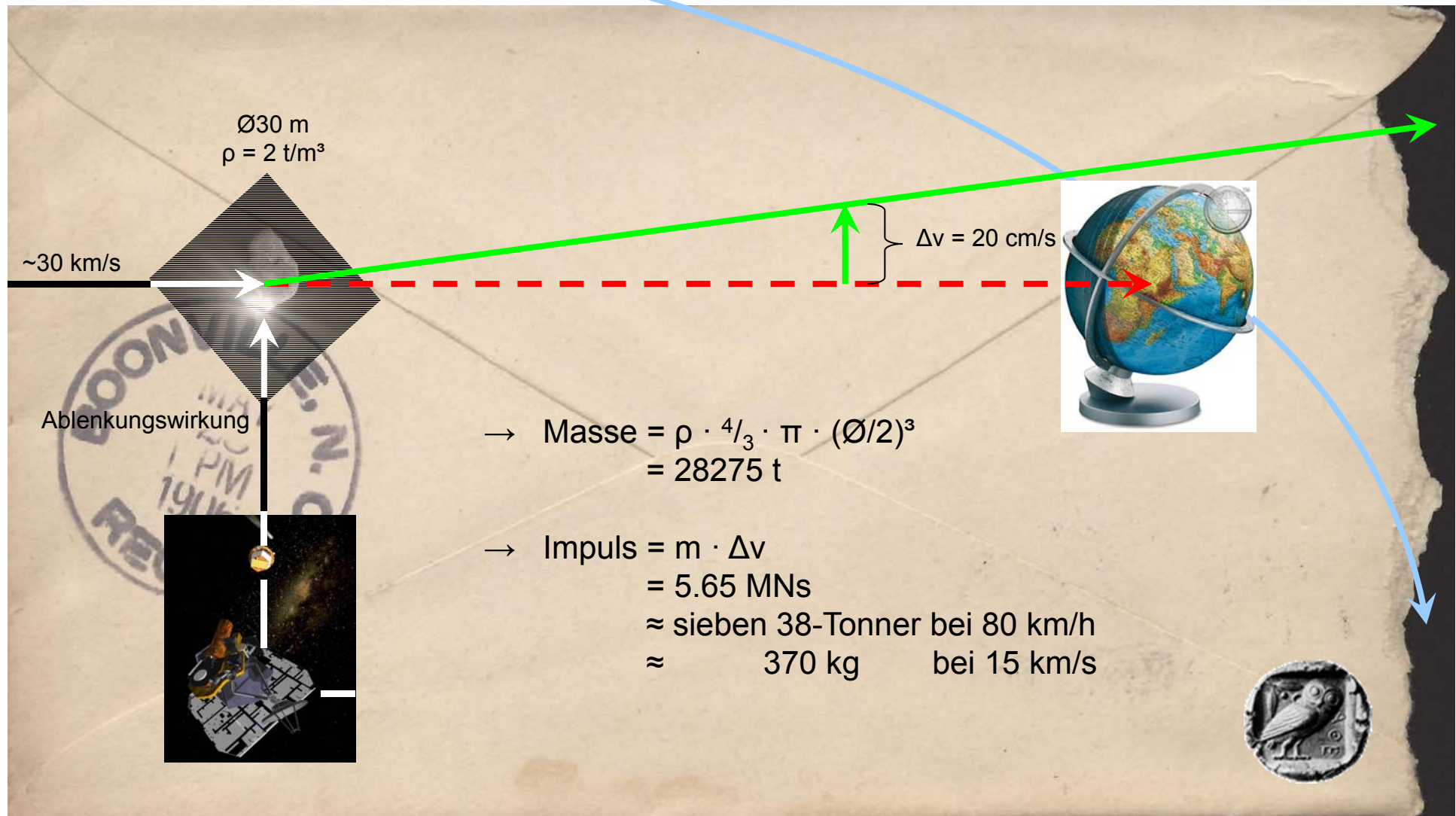
- große Einschläge sind sehr selten
 - 1 km NEO: ca. alle 250 000 Jahre ~Nördlingen
 - 200 m NEO: ca. alle 160 000 Jahre Krater, Megatsunami
 - ca. alle 2500 Jahre Luftdetonation
 - 30-60 m NEO: ca. alle 100 – 600 Jahre ~Tunguska
 - 20 m NEO: ca. alle 10 Jahre ~1 Mt TNT
 - 6 m NEO: ca. monatlich ~Hiroshima
- kleine Objekte bleiben meist in der Atmosphäre „stecken“
 - schönes Feuerwerk...
 - 2008 TC₃: ~ 1 – 2 kt TNT ~ taktische Atomwaffe
 - ...oder Katastrophe!
 - Tunguska ~ 5 Mt TNT ~ Berlin weg bis zur A 10



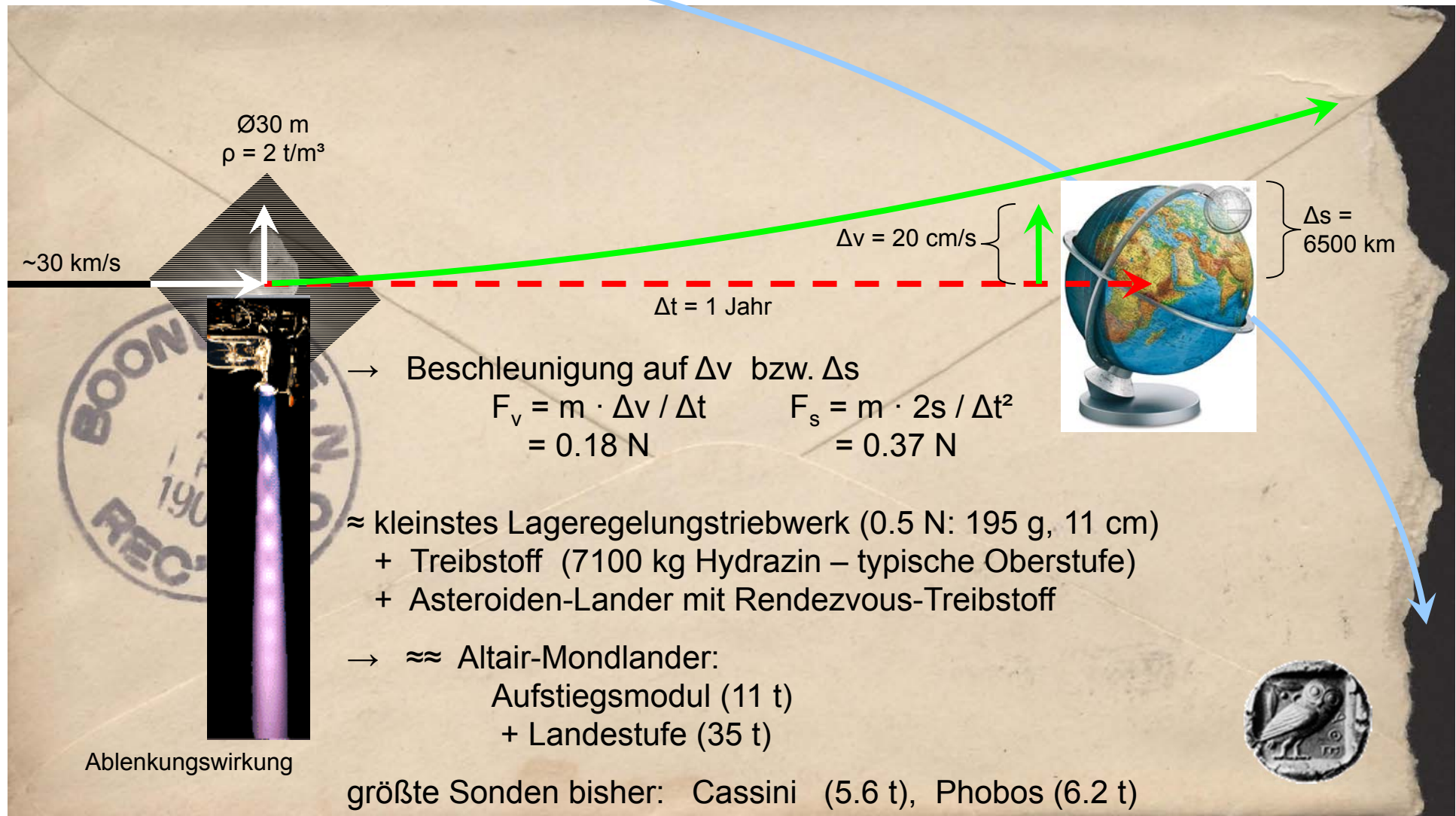
...war gerade abgelenkt...



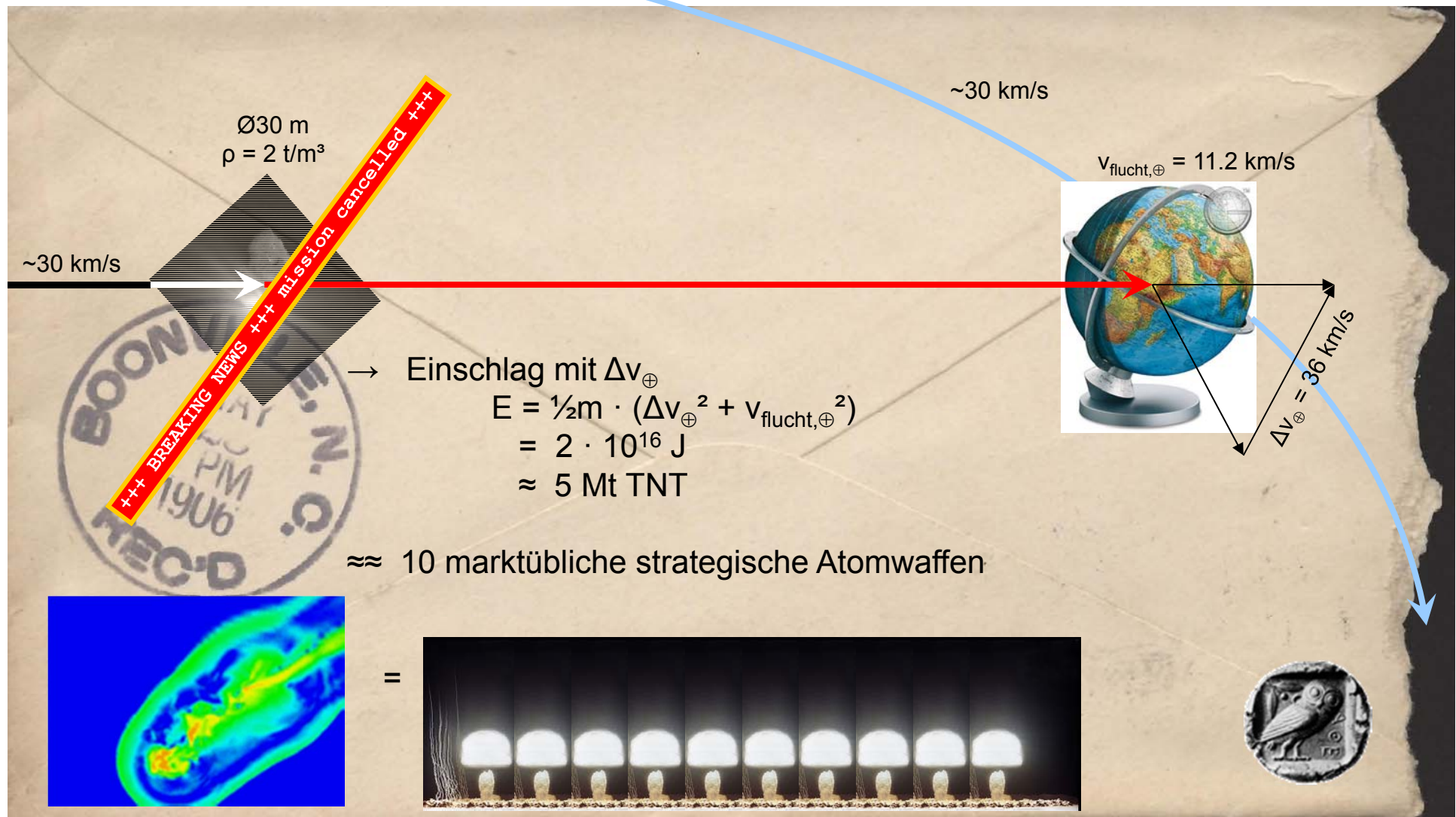
“Peng!” oder...



...“schhh...”...



...oder nix tun.

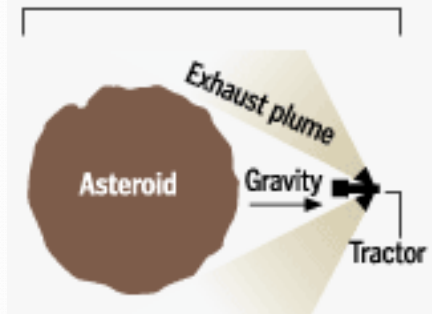


Asteroiden schubsen – mit Schwerkraft leicht gemacht?!

➤ „Gravity Tractor“:

- schwache Wirkung selbst bei großem Flugkörper
- unabhängig von Eigenschaften des Zieles
 - Rotation & Oberflächeneigenschaften unerheblich
- Rendezvous und Positionshaltung zwingend erforderlich
 - Interaktion Ziel – Triebwerksstrahl ?
- eventuell in Einzelfällen machbar
 - wenn der Effekt über sehr lange Zeit wirkt
 - 1950 DA: Zeit bis zum 16. März 2880
 - wenn der Effekt natürlich verstärkt wird
 - Apophis: >10000 durch Erddpassage

- Spacecraft hovers near enough to the asteroid to exert natural gravitational pull.
- Craft maintains distance from asteroid with nuclear-electric thrusters.
- Thrusters are angled outward so exhaust avoids the asteroid.
- Distance remains constant as tug moves forward, pulling asteroid off collision course. ➡



Asteroiden schubsen

– mit Einschlagkraft gegen den Einschlag

- Kinetischer Impaktor
 - deutliche Wirkung proportional zur Masse
 - abhängig von Eigenschaften des Zieles
 - Umwandlung von kinetischer Energie in Impuls kann Wirkung deutlich erhöhen
 - kein Rendezvous erforderlich
 - aber: nur eine Chance – auf Kollisionskurs
 - gesteuerter Zielflug in Minuten
 - machbar für viele kleinere Körper bis ~200 m
 - bei hoher Relativgeschwindigkeit effizient
 - gesamter Flugkörper kann wirken
 - Aufteilung der Masse unerheblich
 - Flotille erhöht Trefferchancen stark



Asteroiden schubsen

– mit Megatonnen gegen Megakatastrophen

➤ nukleare Lösung

➤ höchste Wirkung pro Flugkörpermasse

➤ Strahlungsablation: Röntgenstrahlung oder Neutronen verdampfen einige cm Material

➤ kein Rendezvous erforderlich (~Kollisionskurs)

➤ Zündung in präzisiertem Abstand nötig

➤ unbeabsichtigte Zerstörung möglich (Schrotschußgefahr)

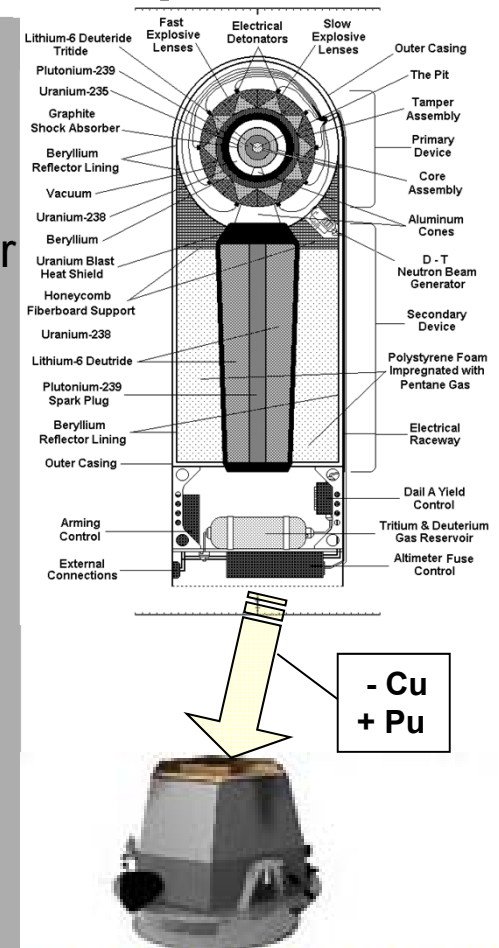
➤ machbar für alle Ziele

➤ Wirkung muß dosiert eingesetzt werden

➤ verfügbare Sprengköpfe evtl. nicht optimal

➤ Flotille nötig um sich heranzutasten

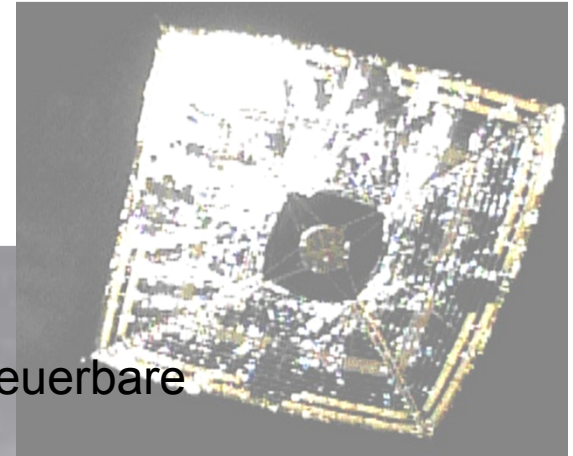
➤ ⇔ flexibel falls Ziel zerbricht



Smart, Instrumented Impactor

Asteroiden schubsen – sanft mit Sonnenlicht

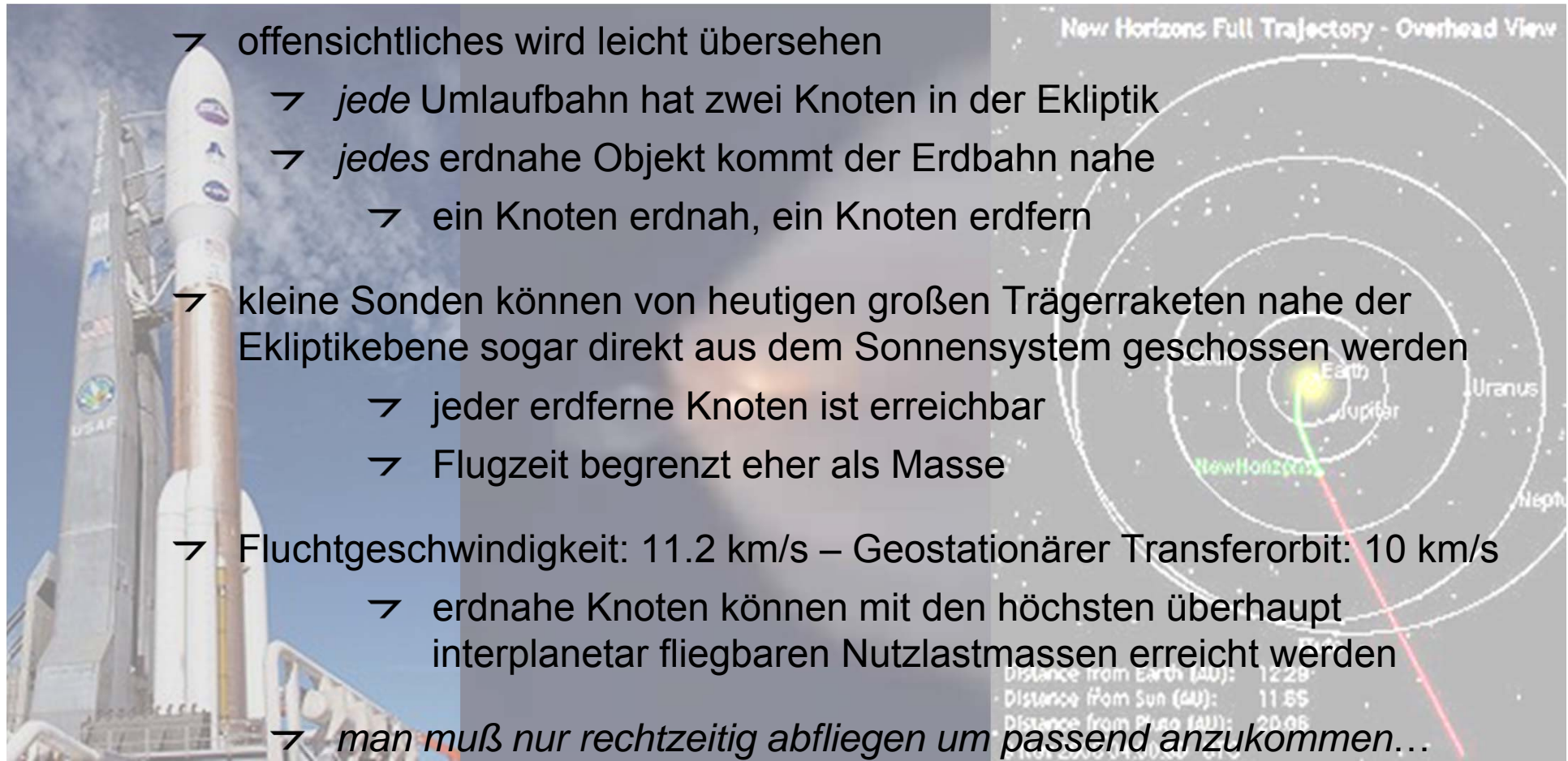
- Solarkonzentratoren
 - hohe Wirkung über Zeit, da eine externe erneuerbare Energiequelle verwendet wird
 - Strahlungsablation: konzentrierte Sonnenstrahlung verdampft lokal Material
 - Abbildungsqualität nicht gefordert
 - Rendezvous, Positionshaltung und Ausrichtung zwingend
 - Risiko der Spiegelverschmutzung hoch
 - große Flugkörper unvermeidlich (ComSat ~ Cassini ~ 6 t)
- machbar für viele kleine und mittlere Ziele in ständiger Erdnähe
 - Wirkung muß ggf. lang eingesetzt werden
 - Parabolantennen bis ca. 30 m geflogen
 - Flotille nötig wegen Spiegelqualität



Asteroiden erreichen

– überall, nicht jederzeit

- offensichtliches wird leicht übersehen
 - *jede* Umlaufbahn hat zwei Knoten in der Ekliptik
 - *jedes* erdnahe Objekt kommt der Erdbahn nahe
 - ein Knoten erdnah, ein Knoten erdfern
- kleine Sonden können von heutigen großen Trägerraketen nahe der Ekliptikebene sogar direkt aus dem Sonnensystem geschossen werden
 - jeder erdferne Knoten ist erreichbar
 - Flugzeit begrenzt eher als Masse
- Fluchtgeschwindigkeit: 11.2 km/s – Geostationärer Transferorbit: 10 km/s
 - erdnahe Knoten können mit den höchsten überhaupt interplanetar fliegbaren Nutzlastmassen erreicht werden
- *man muß nur rechtzeitig abfliegen um passend anzukommen...*

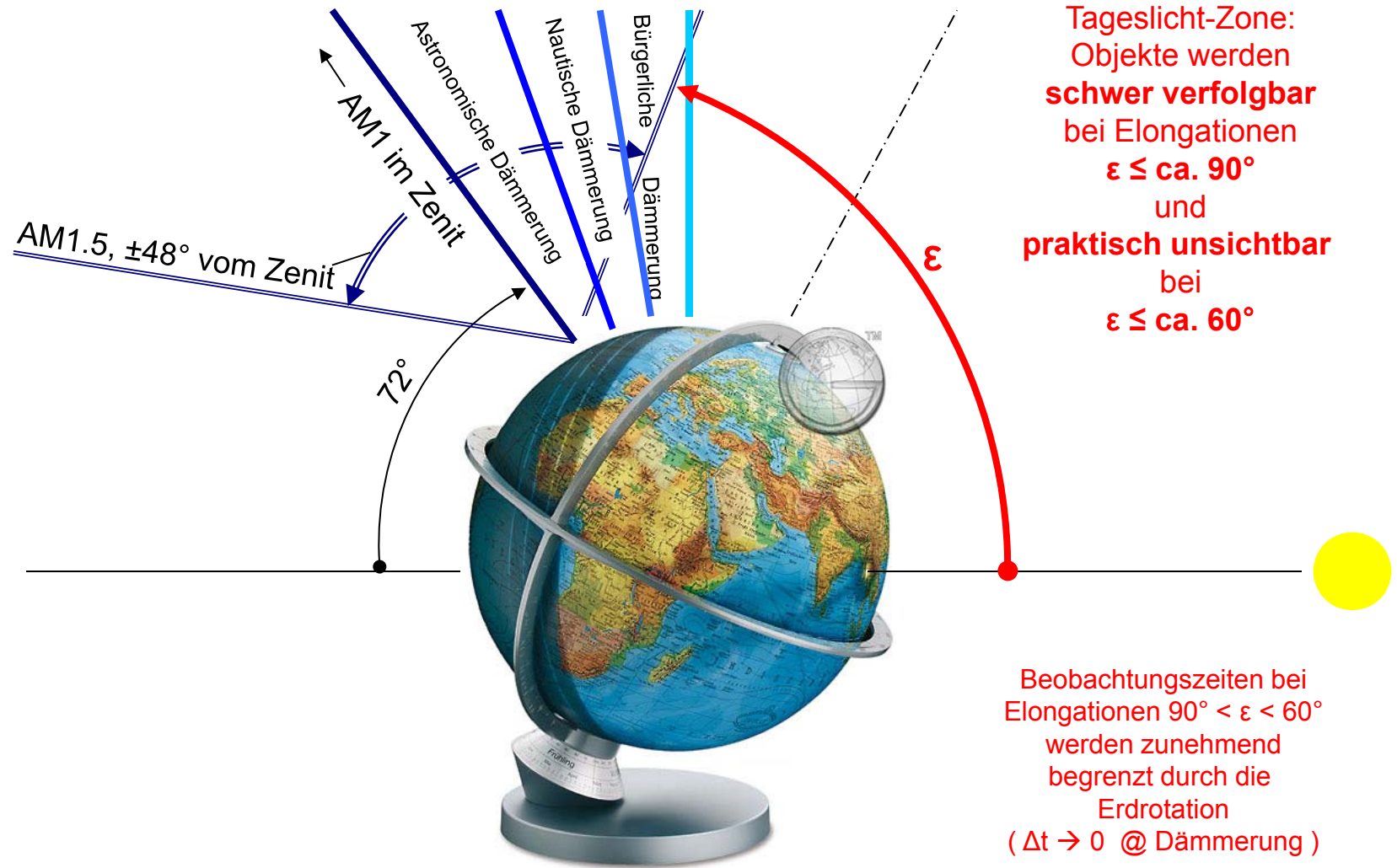


Asteroiden treffen

– auf Kollisionskurs über 10 km/s

- agile Steuerungssysteme werden in ABM-Systemen verwendet
 - Entwurf seit 1956 (Sowjetunion)
 - 4. März 1961: erfolgreicher Abschluß einer Sprengkopfatrappe durch eine nichtnukleare Rakete (Sowjetunion)
 - USA: vergleichbare Leistung erst 1984 demonstriert
 - kontinuierliche Stationierung und Verbesserung seit 1972 durch drei Generationen (Sowjetunion & Rußland)
 - ab 2. Generation nuklear bestückt
 - USA: nukleare ABM in den 1970er Jahren komplett entwickelt und dann einseitig abgerüstet
 - neue Generation mit nichtnuklearen kinetischen Impaktoren noch in Entwicklung und Erprobung
- „Star Wars“ weltraumtauglich?

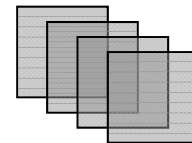
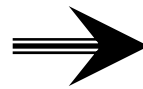
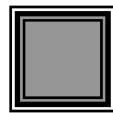
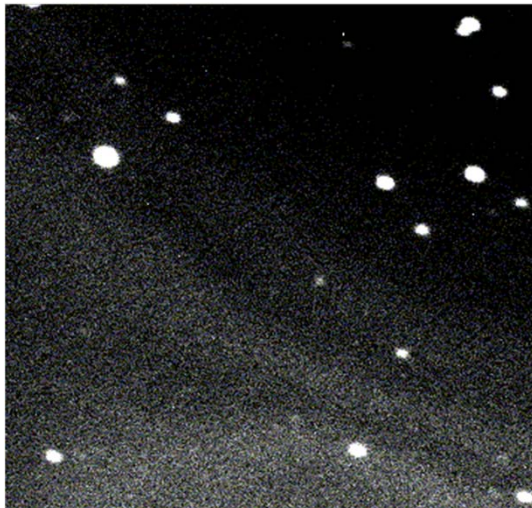
Asteroiden finden



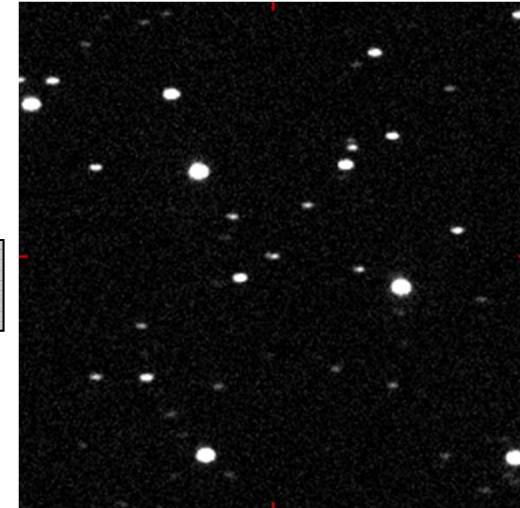


Bewegung im Rauschen: Planet, Stern oder Partikel?

suchen



verfolgen

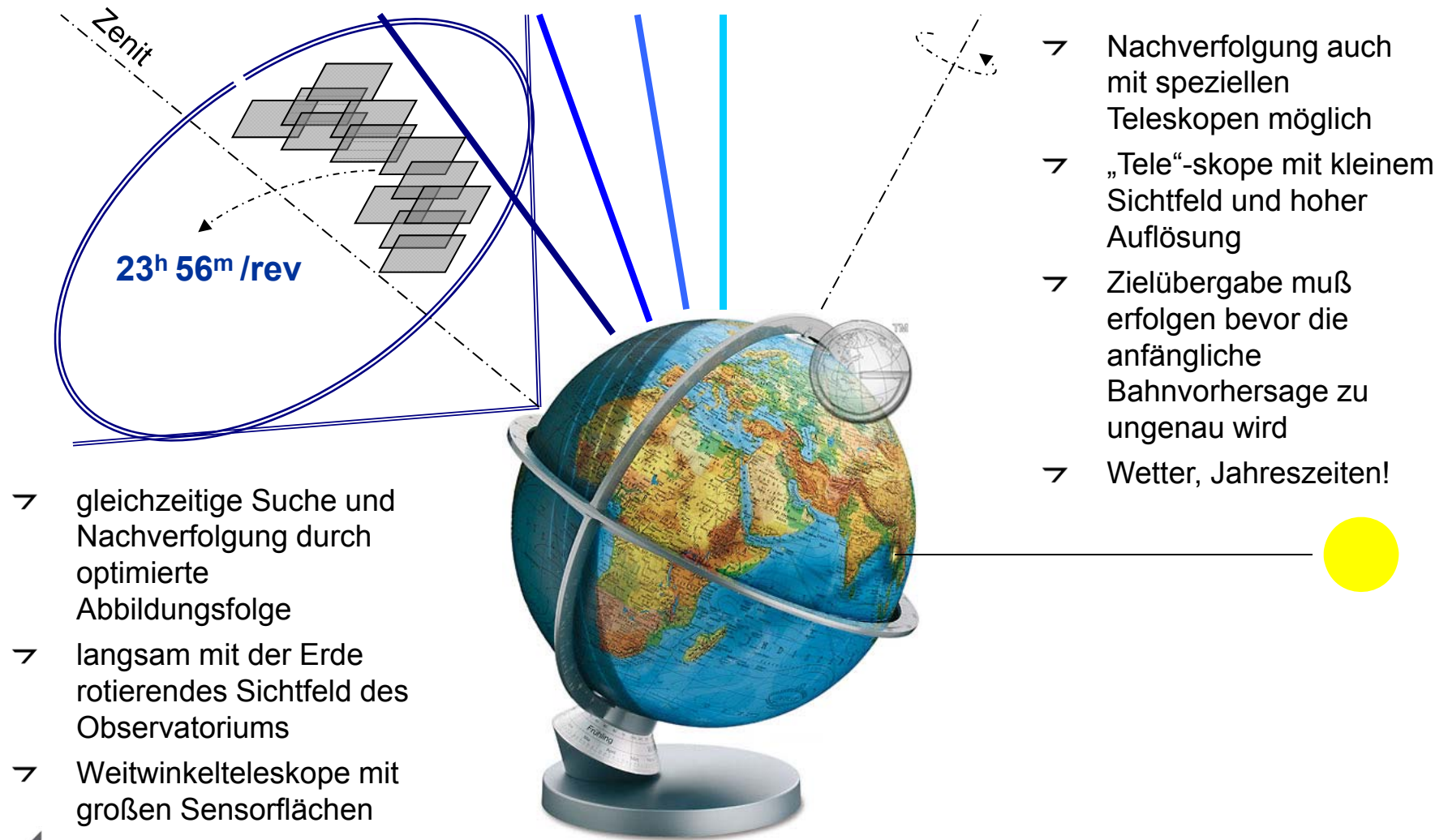


- einen vermutlich ertragreichen Himmelsausschnitt auswählen
- periodisch ≥ 3 mal abbilden
- nach Veränderungen absuchen
- nach auf einer Linie bewegten Punkten filtern

- mit der erwarteten Bewegung eines Objektes mitziehen
- so ange wie möglich verfolgen
- nach Abweichungen suchen
- Bahnberechnung verbessern durch Referenzsternvergleiche



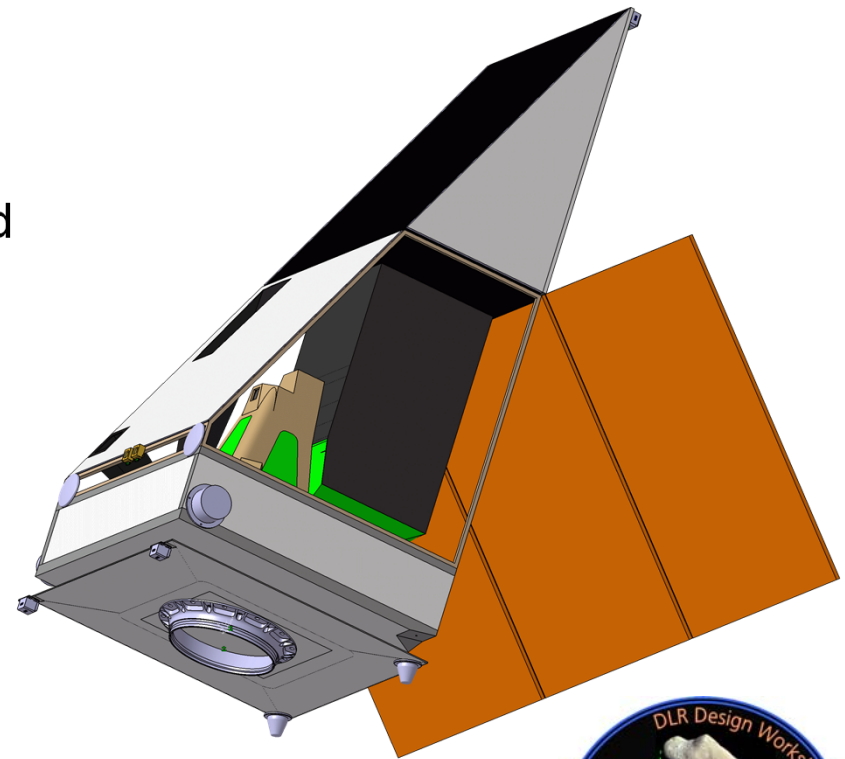
Erdgebundene Suchprogramme





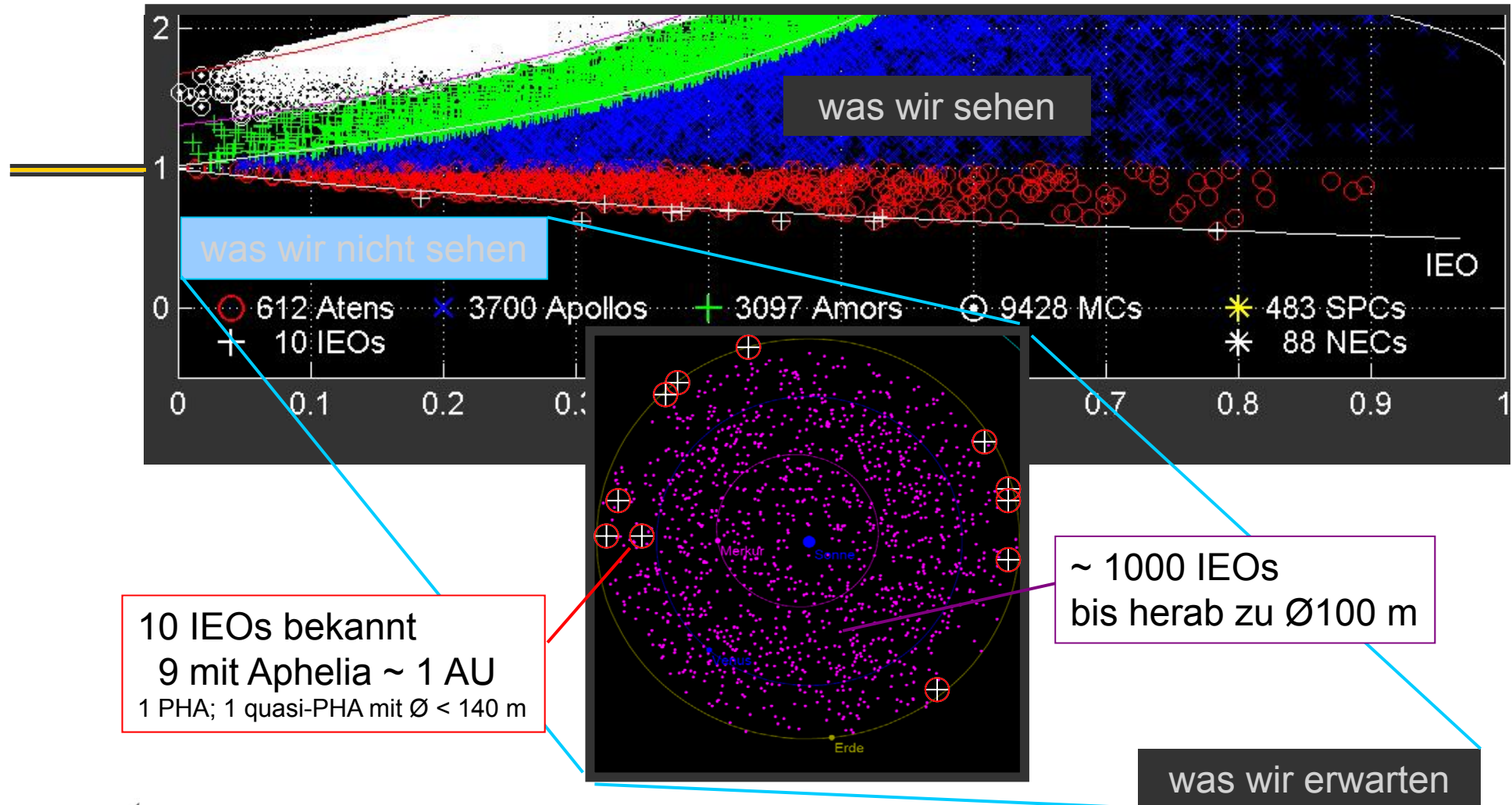
Werbeeinblendung: DLR bietet auch tagsüber Nachthimmel

- AsteroidFinder
 - DLR-Kleinsatellit ~180 kg
 - Beobachtung zwischen 60° und $\leq 30^\circ$ Elongation
- Off-Axis-Teleskop (Cook TMA)
 - effektiv- \varnothing ~25 cm
 - Grenzgröße +18.5 mag
- Start für 2014 geplant
- Hauptziel: Suche nach Asteroiden innerhalb der Erdbahn
- Nachverfolgung von Asteroiden die zur Tagseite ziehen





Lückenfüllung

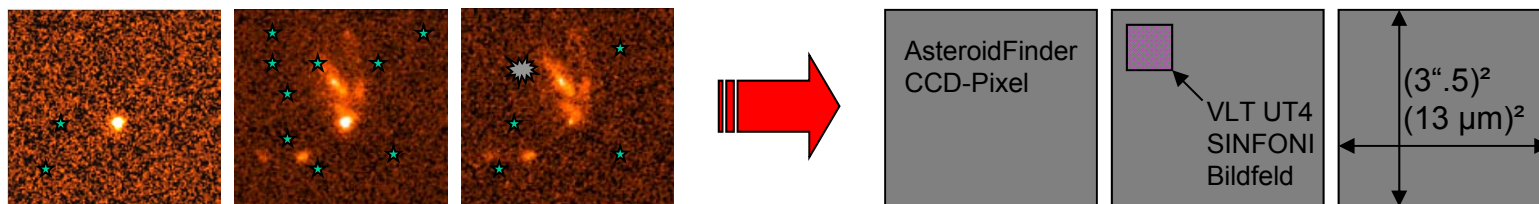




Teleskop ≠ Teleskop

- Sterne und Nebel bilden einen diffusen Hintergrund bei jeder Auflösung (“Billions and Billions”)
- interplanetarer Staub bildet einen lokalen Hintergrund um die Sonne (Zodiakallicht, Erde-Mond-Staub- und Natrium-Wolken)
- die Korona bildet einen auf die Sonne zentrierten, variablen Hintergrund, der weiter reicht als die von SOHO LASCO C-3 abgedeckten 32 r_☉

Bei jeder Kamera, bei jedem Abbildungsmaßstab kann...



...diffuser Hintergrund, stellarer Hintergrund, oder ein durchlaufender Asteroid... ...**GENAU GLEICH AUSSEHEN.**

Hintergrundbild: GRB990123 mit HST STIS, auf (3''.2)² Gesamtbildfeld, 0''.05 Detektorpixel, 0''.025 drizzled — Differenz Feb'99-Feb'00 – Feb'99 – Mar'99

HST FOC im hochauflösenden Modus: (3''.6)² Gesamtbildfeld – VLT UT4 SINFONI im hochauflösenden Modus : (0''.8)² Gesamtbildfeld



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

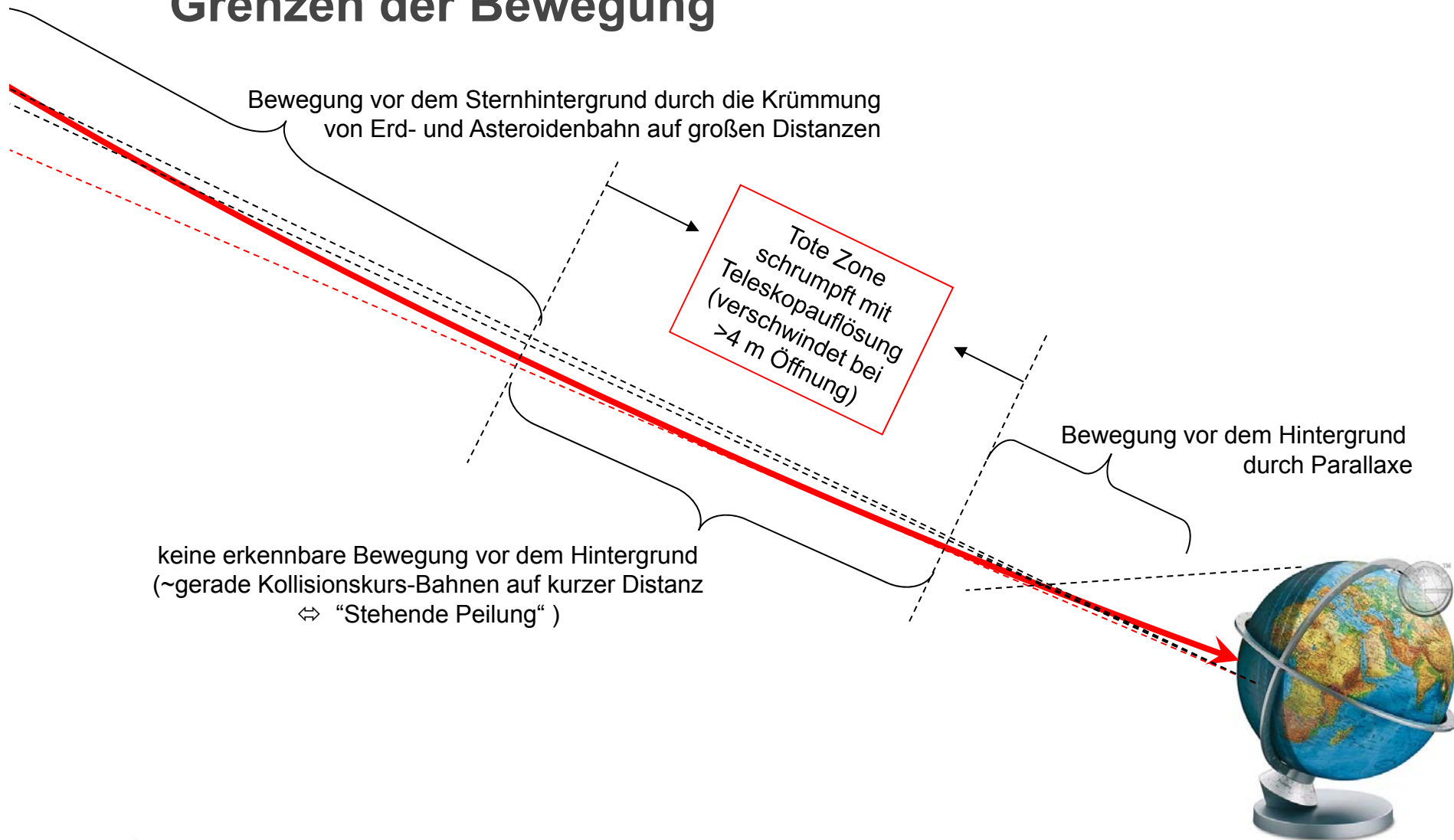
Bilder: NASA / STScI

Folie 28

1. Deutsches Meteoriten-Kolloquium in Kuhfelde, Sachsen-Anhalt > Asteroidenalarm! > RY-OR HB Jg > 13 NOV 2010



Grenzen der Bewegung





Zusammenfassung:

Mission: Possible

- Kopie einer kürzlich geflogenen Mission – z.B. ...
 - Deep Impact modifiziert für Kollisionkurs-Missionen
 - geostationärer Satellitenbus + Rosetta-Instrumente für Rendezvous
 - ~3...5 Jahre Vorlauf mit „Massenproduktion“ von einigen 10 Stück
- Aufbau einer Trägerraketenreserve
 - von Delta-II-Klasse bis Ariane, Atlas, Delta IV, Proton
 - Startanlagen zeitweise exklusiv reserviert für sukzessive Startkampagnen
 - Vorerkundung mit geleichterten Sonden (nur Instrumente)
 - Parken von Flugkörpern (Erdorbit mit lagerfähigen Kickstufen)
 - Direktstarts zum Ziel
- Flotille fliegt das Ziel in der Nähe eines Bahnknotens an



Zusammenfassung:

Verlässlichkeit: Gegeben

- folgende Flugkörper beobachten die Wirkung der vorangehenden
 - laufende Anpassung des Anfluges bei Kollisionskurs-Missionen
 - flexible Wartestellung bei Rendezvous-Missionen
- Reservekapazitäten können zur „Nachbereitung“ genutzt werden
 - Abfangen von abgeplazten Zieltrümmern (Kollisionskurs-Missionen)
 - einstellen einer langfristig sicheren Umlaufbahn des Ziels (beide)
- Merke:
 - Regel #1: Jeder abgefangene Asteroid ist ein Komet
 - Regel #2: Ist er es nicht, so ist es bloß der erste Versuch
 - Es gilt dann Regel #1
- Impakt-Auswurf, verdampftes Oberflächenmaterial, Triebwerksabgase, Zieltrümmer ⇔ *künstliche Koma* !
- Jeder Flugkörper muß kometensicher sein (Whipple-Schutzschilde)



Zusammenfassung:

Aufwand: Tragbar

- existierende interplanetaren Raumflugtechnik und Infrastruktur reicht aus
 - Erfahrung muß erhalten werden durch anhaltenden Flugbetrieb
 - in Extremfällen reicht punktuelle Unterstützung durch vorhandene militärische Technik aus (Raketenabwehr, Atomsprengkörper)
- ständig bereite „stehende Armee“ keinesfalls notwendig
- ABER: **ständige** Beobachtung des erdnahen Sonnensystems erforderlich!
 - Vorwarnzeit: > 1 synodische Periode für Anflug auf Bahnknoten
 - sehr erdnahe Objekte bis herab zu $H = 24$ (Tunguska-Klasse / Mt-Impaktoren) vollständig erfassen
 - „tote Zone“ schließen: große Weitwinkelteleskope
- erste Schritte beginnen: PanSTARRS, Large Synoptic Survey Telescope





Zusammenfassung:

Grenzen: Naturgegeben

- Zeitrahmen zur Abwehr:
 - Entdeckung vor Einschlag: ≥ 1 synodische Periode
 - natürliche Grenze: Sichtbarkeit des Ziels von der Erde aus
 - technische Grenze: Vorbereitung der Ablenkungskampagne
 - beides ~5 Jahre (min. ca. 3 Jahre)
- Vorhersagbarkeit des Einschlags: Bahnbestimmung
 - natürliche Grenze: Bahnstörungen durch schwache Effekte (Yarkovsky-Effekt, Schwerkraft anderer Kleinplaneten,...)
 - technische Grenze: Beobachtungsgenauigkeit und –dauer
 - gemeinsamer Faktor: Verstärkung aller Störungen und Meßstreuungen durch nahe Planetenvorbeigänge
 - typisch ~30 Jahre ($\ll 100$ Jahre, außer Resonanz)



Zusammenfassung:

Restrisiko

- ein großer Teil der potentiell gefährlichsten Objekte ist bereits entdeckt
 - Mitte 2009: 777 von 940 erwarteten NEOs >1 km entdeckt
- das Einschlagsrisiko bleibt unverändert – kein Objekt wurde abgelenkt
- das Restrisiko einer Überraschung ist stark zurückgegangen:
 - 20 Tote/Jahr durch lokal oder regional katastrophale Einschläge
 - 4 Tote/Jahr durch Einschlagtsunamis
 - 54 Tote/Jahr durch global katastrophale Einschläge
- kontinuierliche Reduktion des Risikos durch Katalogisierung von NEOs
- das Risiko durch eine „stehende Abwehr“ ist vermutlich größer
 - Havarie betanker Raketen, Wartungsunfälle, ggf. nukleare Risiken

PS: Tourismusförderung

- Bei entsprechenden Vorwarnzeiten und guter Abdeckung des gesamten Himmels kann es möglich werden, die relativ häufigen Einschläge in der kt-TNT-Klasse regelmäßig zu beobachten
 - häufig: Luftdetonationen (z.B. 2008 TC₃)
 - gelegentlich: Meteoritenfälle
 - selten: Kleinkrater (z.B. Carancas)
- Wie SoFi-Reisen ... nur etwas mehr last-minute? ;-)





Fragen?



Who knows whether, when a comet shall approach this globe to destroy it, as it often has been and will be destroyed, men will not tear rocks from their foundations by means of steam, and hurl mountains, as the giants are said to have done, against the flaming mass? - And then we shall have traditions of Titans again, and of wars with Heaven.

Lord Byron, 1822





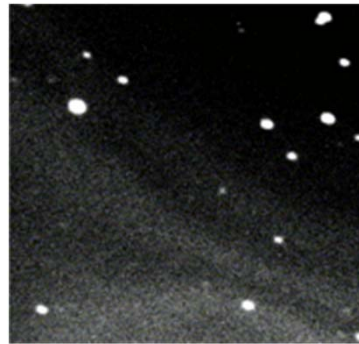
Asteroid 101: IEOs, NEOs, Mitigation

FAQ resources

- Gerhard Hahn, DLR EARN asteroid database: <http://earn.dlr.de/neal> (*erstellt Populationsgraphiken*)
- IAU: Minor Planet Center – Lists and Plots: Minor Planets: <http://cfa-www.harvard.edu/iau/lists/MPLists.html>
- NEODyS Near Earth Objects Dynamic Site: <http://newton.dm.unipi.it/cgi-bin/neodys/neoibo>
- Don Yeomans, NASA NEO Program – Current Impact Risks: <http://neo.jpl.nasa.gov/risk/>
- David Vokrouhlický, Paolo Farinella and William F. Bottke, Jr.; The Depletion of the Putative Vulcanoid Population via the Yarkovsky Effect, Icarus Volume 148, Issue 1, Nov. 2000, p. 147-152 (*google by title*)
- Patrick Michel, Vincenzo Zappalà, Alberto Cellino, Paolo Tanga; Estimated Abundance of Atens and Asteroids Evolving on Orbits between Earth and Sun, Icarus Volume 143, Issue 2, Feb. 2000, p. 421-424 (*google b.t.*)
- William F. Bottke, Jr., Alessandro Morbidelli, Robert Jedicke, Jean-Marc Petit, Harold F. Levison, Patrick Michel and Travis S. Metcalfe; Debiased Orbital and Absolute Magnitude Distribution of the Near-Earth Objects, Icarus Volume 156, Issue 2, Apr. 2002, p. 399-433 (*erstellt Populationssimulationen - google by title*)
- Tunguska Home Page, University of Bologna: <http://www-th.bo.infn.it/tunguska/> → Publications
- Michael J.S. Belton, Thomas H. Morgan, Nalin H. Samarasinha, Donald K. Yeomans (ed.), Mitigation of Hazardous Comets and Asteroids, Cambridge University Press, 2004
- John S. Lewis, Rain of Iron and Ice, Addison-Wesley, 1997 (extended paperback ed.)
- Spaceguard Foundation: <http://spaceguard.rm.iasf.cnr.it/SGF/INDEX.html> <http://www.spaceguarduk.com/>
- Chrisian Gritzner, Kometen und Asteroiden – Bedrohung aus dem All, Aviatic Verlag (1999)
- Ralph Kahle, Modelle und Methoden zur Abwendung von Kollisionen von Asteroiden und Kometen mit der Erde, Doctoral Thesis, Technische Universität Berlin (2005):
http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2005/1127/pdf/kahle_ralph.pdf , dies und mehr unter
<http://www.weblab.dlr.de/rbrt/Publications/PubKahle.html>
- Jan Thimo Grundmann, Betrachtung des Missionsszenarios zur Verhinderung von Einschlägen von Asteroiden auf die Erde unter Berücksichtigung des Bedrohungspotentials und der technischen Möglichkeiten, diploma thesis, RWTH Aachen (2006): <http://www.kiwikommando.de/space4space/> (*provisorisch*)



Asteroid 101: The Devil is in the Details



(99942) Apophis

...benannt nach dem Altägyptischen Entschöpfer, der in der ewigen Dunkelheit der Unterwelt residiert. Ein naher Erdvorbeiflug am Fr. 13. April 2029 unterhalb der geostationären Höhe wird Apophis auf eine Bahn zwischen ~0.1 AE Erdabstand und einem Erd-Volltreffer am 13. April 2036 schleudern, bei 2.2×10^{-5} geschätzter Einschlagwahrscheinlichkeit.

Hinweis: (99942) + ☞ + ☞☞ → '666' + 42 :-)